

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-288965

(43)Date of publication of application : 17.10.2000

(51)Int.Cl.

B25J 9/10

G05B 19/18

(21)Application number : 11-094387

(71)Applicant : OKUMA CORP

(22)Date of filing : 31.03.1999

(72)Inventor : NASHIKI MASAYUKI

MATSHISITA TETSUYA

WATANABE SEIJI

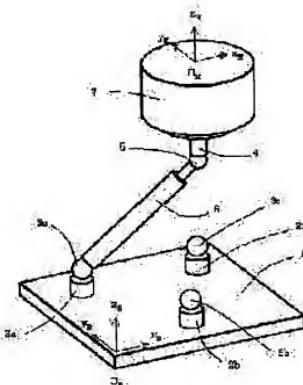
NAKAGAWA MASAO

## (54) MEASURING DEVICE AND ERROR CORRECTING METHOD OF MACHINE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To precisely measure the position of a movable matter to be measured by calculating the position of the rotating center of a universal joint mounted on the matter to be measured by means of the trilateration of the rotating centers of three or more universal joints mounted on a base that is a measurement reference.

**SOLUTION:** A length measuring device 6 is mounted between a steel ball 3a and a steel ball 5 to measure the center-to-center distance between the steel ball 3a and steel ball 5. The measurement is repeatedly performed with respect to different steel balls 3b, 3c in the manner of trilateration for measuring the distances from three points having known positions to a certain another point to specify the respective positions of these points, and the center-to-center distance between the steel ball 3b and the steel ball 5 and the center-to-center distance between the steel ball 3c and the steel ball 5 are measured. The position of the reference OH of a matter to be measured 7 to a measurement reference OB is determined from the measured respective center-to-center distances of the steel balls 3a, 3b, 3c with the steel ball 5, the position of center of the steel balls 3a, 3b, 3c to the measurement reference OB, and the position of center of the steel ball 5 to the reference OH of the matter to be measured 7.



## LEGAL STATUS

- [Date of request for examination] 27.06.2002  
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]  
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
 [Date of final disposal for application]  
 [Patent number] 3443030  
 [Date of registration] 20.06.2003  
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
 [Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-288965

(P2000-288965A)

(43)公開日 平成12年10月17日(2000.10.17)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
B 25 J 9/10  
G 05 B 19/18

識別記号

P I  
B 25 J 9/10  
G 05 B 19/18

テマート<sup>7</sup>(参考)  
A 3 F 0 5 9  
C 5 H 2 6 9

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平11-94387

(71)出願人 000149066

(22)出願日 平成11年3月31日(1999.3.31)

オーケーマ株式会社  
愛知県名古屋市北区辻町1丁目32番地

(72)発明者 梨木 政行  
愛知県丹羽郡大口町下小口5丁目25番地の  
1 オーケーマ株式会社大口工場内

(72)発明者 松下 哲也  
愛知県丹羽郡大口町下小口5丁目25番地の  
1 オーケーマ株式会社大口工場内

(72)発明者 斎辺 成治  
愛知県丹羽郡大口町下小口5丁目25番地の  
1 オーケーマ株式会社大口工場内

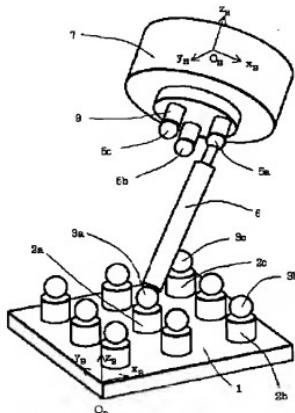
最終頁に統く

(54)【発明の名称】測定装置および機械の誤差補正方法

(57)【要約】

【課題】アクチュエータによってエンドエフェクタの位置及び姿勢を制御する機械のエンドエフェクタの位置及び姿勢の測定装置、及びその誤差を補正する誤差補正方法を提供する。

【解決手段】測定基準となる基台1の上に3つ以上の自在締手固定部材2が取り付けられ、夫々の自在締手固定部材2には自在締手として鋼球3が固定され、自在締手固定部材9には自在締手としての鋼球5が固定され、他の部材に支えられた被測定物7に自在締手固定部材4が取り付けられ、測長装置6は鋼球3と鋼球5の間に取り付けられている。このような測定装置を用いて、エンドエフェクタの位置及び姿勢の測定値を基に機械における機構の幾何学的誤差を推定して補正し、エンドエフェクタの位置及び姿勢の誤差を補正する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】第1の自在継手と、前記第1の自在継手を取り付け可能な第1固定部材と、3つ以上の前記第1固定部材を取り付けた基台と、第2の自在継手と、被測定物へ取り付けられ前記第2の自在継手を取り付け可能な第2固定部材と、前記第1固定部材を介し基台上に取付けられた3つ以上の第1の自在継手と前記第2固定部材を介し被測定物に取付けられた第2の自在継手の間に取り付けられる測長装置とを備え、前記3つ以上の第1の自在継手と第2の自在継手との距離を測定することにより基台に対する被測定物の位置を測定することを特徴とする測定装置。

【請求項2】第1の自在継手と、前記第1の自在継手を取り付け可能な第1固定部材と、基台に載置され前記第1固定部材を取り付け可能で平面上に任意に位置決め可能なテーブルと、前記テーブルを位置決め駆動する駆動装置と、前記テーブルの位置を検出する検出装置と、第2の自在継手と、被測定物へ取り付けられた第2の自在継手と前記第2固定部材を介し被測定物に取付けられた第2の自在継手の間に取り付けられる測長装置とを備え、前記テーブルの移動により前記第1の自在継手と第2の自在継手との距離を測定することにより基台に対する被測定物の位置を測定することを特徴とする測定装置。

【請求項3】第1の自在継手と、前記第1の自在継手を取り付け可能な第1固定部材と、3つ以上の前記第1固定部材を取り付けた基台と、第2の自在継手と、被測定物へ取り付けられた3つ以上の第2の自在継手と前記第2固定部材と、前記第1固定部材を介し基台上に取付けられた3つ以上の第1の自在継手と前記第2固定部材を介し被測定物に取付けられた3つ以上の第2の自在継手の間に取り付けられる測長装置とを備え、前記3つ以上の第1の自在継手と3つ以上の第2の自在継手との距離を測定することにより基台に対する被測定物の位置及び姿勢を測定することを特徴とする測定装置。

【請求項4】第1の自在継手と、前記第1の自在継手を取り付け可能な第1固定部材と、基台に載置され前記第1固定部材を取り付け可能で平面上に任意に位置決め可能なテーブルと、前記テーブルを位置決め駆動する駆動装置と、前記テーブルの位置を検出する検出装置と、第2の自在継手と、被測定物へ取り付け可能な第2固定部材と、前記第2固定部材を介し被測定物に取付けられた第1の自在継手と前記第1固定部材を介し基台上に取付けられた3つ以上の第2の自在継手の間に取り付けられる測長装置とを備え、前記3つ以上の第2の自在継手との距離を測定することにより基台に対する被測定物の位置及び姿勢を測定することを特徴とする測定装置。

の自在継手と3つ以上の第2の自在継手との距離を測定することにより基台に対する被測定物の位置及び姿勢を測定することを特徴とする測定装置。

【請求項5】第1の自在継手と、前記第1の自在継手を取り付け可能な第1固定部材と、3つ以上の前記第1固定部材を取り付けた基台と、第2の自在継手と、被測定物へ回転割出し可能に取り付けられ前記第2の自在継手を回転中心軸に対して偏心させて取り付け可能な第2固定部材と、前記第1固定部材を介し基台上に取付けられた3つ以上の第1の自在継手と前記第2固定部材を介し被測定物に取付けられた第2の自在継手の間に取り付けられる測長装置とを備え、前記第2固定部材の回転移動により前記第2の自在継手を3ヶ所以上に位置決めし、各位置における前記第2の自在継手と3つ以上の第1の自在継手との距離を測定することにより基台に対する被測定物の位置及び姿勢を測定することを特徴とする測定装置。

【請求項6】第1の自在継手と、前記第1の自在継手を取り付け可能な第1固定部材と、基台に載置され前記第1固定部材を取り付け可能で平面上に任意に位置決め可能なテーブルと、前記テーブルを位置決め駆動する駆動装置と、前記テーブルの位置を検出する検出装置と、第2の自在継手と、被測定物へ回転割出し可能に取り付けられ前記第2の自在継手を回転中心軸に対して偏心させて取り付け可能な第2固定部材と、前記第1固定部材を介しテーブルに取付けられた3ヶ所の自在継手と前記第2固定部材を介し被測定物に取付けられた第2の自在継手の間に取り付けられる測長装置とを備え、前記第2固定部材の回転移動により前記第2の自在継手が3ヶ所以上

に位置決めされた各位置において前記テーブルの移動により3ヶ所以上に位置決めされた各位置における前記第1の自在継手と前記第2の自在継手との距離を測定することにより基台に対する被測定物の位置及び姿勢を測定することを特徴とする測定装置。

【請求項7】基台と、基台に対し移動位置決め可能に設けられたエンドエフェクタとの指令値と実際の位置及び姿勢との誤差を補正する方法であって、前記エンドエフェクタを任意の複数の位置及び姿勢に位置決めしエンドエフェクタ上の1点と基台上の1点との距離を測定し、任意の複数の位置及び姿勢における2点間の距離の測定値と指令値との差が最も小さくなるように前記機構の幾何学的誤差を推定し、この幾何学的誤差を補正值とすることにより、エンドエフェクタの位置及び姿勢の誤差を補正することを特徴とする誤差補正方法。

【請求項8】基台と、基台に対し移動位置決め可能に設けられたエンドエフェクタとの指令値と実際の位置及び姿勢との誤差を補正する方法であって、前記エンドエフェクタを任意の複数の位置及び姿勢に位置決めしエンドエフェクタ上の1点と基台上の3点との距離をそれぞれ測定し、測定値に基づいて前記任意の複数の位置における

るエンドエフェクタの位置を求める、前記任意の複数の位置全てにおいて求めたエンドエフェクタの基台に対する位置と指令位置との差が最も小さくなるように前記機構の幾何学的誤差を推定し、この幾何学的誤差を補正値とすることにより、エンドエフェクタの位置及び姿勢の誤差を補正することを特徴とする誤差補正方法。

【請求項9】基台と、基台に対し移動位置決め可能に設けられたエンドエフェクタとの指令値と実際の位置及び姿勢との誤差を補正する方法であって、前記エンドエフェクタを任意の複数の位置に位置決めし、エンドエフェクタ上の3点に対する基台上の3点各々の距離をそれぞれ測定し、測定値に基づいて前記任意の複数の位置におけるエンドエフェクタの位置と姿勢を求め、前記任意の複数の位置全てにおいて求めた位置と姿勢とエンドエフェクタの指令値により前記機構の幾何学的誤差を推定し、この幾何学的誤差を補正値とすることにより、エンドエフェクタの位置及び姿勢の誤差を補正することを特徴とする誤差補正方法。

【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、被測定物の位置もしくは位置及び姿勢を測定することができる測定装置と、アクチュエータによりエンドエフェクタの位置及び姿勢を制御する機械のエンドエフェクタの位置もしくは位置及び姿勢の誤差の補正方法に関するものである。

#### 【0002】

【従来技術】工作機械やロボットなどアクチュエータによって、主軸、工具、ハンド、その他（以下まとめてエンドエフェクタという）の位置及び姿勢を制御する機械において、その機械の幾何学的な誤差をゼロにする、あるいは測定することは非常に困難であり、その誤差の影響によりエンドエフェクタの位置及び姿勢には誤差が含まれていた。このエンドエフェクタの位置及び姿勢の誤差を補正するために、特開平4-211806号では、複数の既知の基準点を有する治具にロボットのエンドエフェクタを位置合わせし、ロボットに付設した位置検出器によりその時の位置を検出し、検出した位置と予め測定されている基準位置とのずれにより前記ロボットの機械の幾何学的な誤差を推定して、この誤差を補正することにより前記エンドエフェクタの位置及び姿勢の誤差を補正している。

#### 【0003】

【本発明が解決しようとする課題】しかし、前記ロボットのエンドエフェクタの位置及び姿勢の誤差の補正においては、前記治具を高精度に製作する必要があり、又、前記ロボットのエンドエフェクタを前記治具に高精度に位置合わせすることが難しいという問題があった。また、前記エンドエフェクタのような他の部材方に支えられた被測定物の位置及び姿勢を測定するコンパクトな測定装置がなかった。

【0004】本発明は從来技術の有するこのような問題点に迷いなされたものであり、その第1の目的は、他の部材に支えられた被測定物の位置もしくは位置及び姿勢の測定をすることができる高精度でコンパクトな測定装置を提供することである。

【0005】また、本発明の第2の目的は、アクチュエータによってエンドエフェクタの位置及び姿勢を制御することができる機械において、エンドエフェクタと本機固定部との距離あるいはエンドエフェクタの位置もしくは位置及び姿勢の測定をすることができる測定装置による測定値に基づいて、前記機械の機械の幾何学的誤差を推定して補正し、前記エンドエフェクタの位置及び姿勢の誤差を補正する誤差補正方法を提供することである。

#### 【0006】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するためには、請求項1の発明は、第1の自在総手と、前記第1の自在総手を取り付け可能な第1固定部材と、3つ以上の前記第1固定部材を取り付けた基台と、第2の自在総手と、被測定物へ取り付けられ前記第2の自在総手を取り付け可能な第2固定部材と、前記第1固定部材を介し基台に取付けられた3つ以上の第1の自在総手と前記第2固定部材を介し被測定物に取付けられた第2の自在総手の間に取り付けられる測長装置とを備えたものである。

【0007】請求項2の発明は、第1の自在総手と、前記第1の自在総手を取り付け可能な第1固定部材と、基台に載置され前記第1固定部材を取り付け可能で平面上を任意に位置決め可能なテーブルと、前記テーブルを位置決め駆動する駆動装置と、前記テーブルの位置を検出する検出装置と、第2の自在総手と、被測定物へ取り付けられ前記第2の自在総手を取り付け可能な第2固定部材と、前記第1固定部材を介しテーブルに取付けられた第1の自在総手と前記第2固定部材を介し被測定物に取付けられた第2の自在総手の間に取り付けられる測長装置とを備えたものである。

【0008】請求項3の発明は、第1の自在総手と、前記第1の自在総手を取り付け可能な第1固定部材と、3つ以上の前記第1固定部材を取り付けた基台と、第2の自在総手と、被測定物へ取り付けられ前記第2の自在総手を3つ以上取り付け可能な第2固定部材と、前記第1固定部材を介し基台に取付けられた3つ以上の第1の自在総手と前記第2固定部材を介し被測定物に取付けられた3つ以上の第2の自在総手の間に取り付けられる測長装置とを備えたものである。

【0009】請求項4の発明は、第1の自在総手と、前記第1の自在総手を取り付け可能な第1固定部材と、基台に載置され前記第1固定部材を取り付け可能で平面上を任意に位置決め可能なテーブルと、前記テーブルを位置決め駆動する駆動装置と、前記テーブルの位置を検出する検出装置と、第2の自在総手と、被測定物へ取り付けられ前記第2の自在総手を3つ以上取り付け可能な第

2固定部材と、前記第1固定部材を介して一體に取付けられた第1の自在継手と前記第2固定部材を介して被測定物に取付けられた3つ以上の第2の自在継手の間に取り付けられる測長装置とを備えたものである。

【0010】請求項5の発明は、第1の自在椎手と、前記第1の自在椎手を取り付け可能な第1固定部材と、3つ以上の前記第1固定部材を取り付けた基台と、第2の自在椎手と、被測定物へ回転割し寸法に取り付けられる前記第2の自在椎手を回転中心軸に対して偏心させて取り付け可能な第2固定部材と、前記第1固定部材を介し基台に取り付けられた3つ以上の第1の自在椎手と前記第2固定部材を介し被測定物に取付けられた第2の自在椎手の間に取り付けられる測長装置とを備えたものであ  
る。

〔0011〕請求項6の発明は、第1の自在握手と、前記第1の自在握手を取り付け可能な第1固定部材と、基盤に載置され前記第1固定部材を取り付け可能で平面上を任意に位置決め可能なテーブルと、前記テーブルを位置決め駆動する駆動装置と、前記テーブルの位置を検出する検出装置と、第2の自在握手と、被測定物へ回転軸出し可能に取り付けられ前記第2の自在握手を回転中心軸に対して偏心させて取り付け可能な第2固定部材と、前記第1固定部材を介してテーブルに取り付けられた第1の自在握手と前記第2固定部材を介して被測定物に取り付けられた第2の自在握手の間に取り付けられる測長装置とを備えたものである。

[0012]請求項7の発明は、基台と、基台に対し移動位置決め可能に設けられたエンドエフェクタとの指令値と実際の位置との誤差を補正する方法であって、前記エンドエフェクタを任意の複数の位置に位置決めし、エンドエフェクタ1上の1点と基台上の1点との距離を測定する。前記複数の位置における2点間の距離の測定値と指令値との差が最も小さくなるように前記機構の幾何学的誤差を推定し、この幾何学的誤差を補正值とすることにより、エンドエフェクタの位置及び姿勢の誤差を補正するものである。

[0013]請求項8の発明は、基台と、基台に対し移動位置決め可能に設けられたエンドエフェクタとの指令値と実際の位置との誤差を補正する方法であって、前記エンドエフェクタを任意の複数の位置に位置決めしエンドエフェクタ上の1点と基台上の3点との距離をそれぞれ測定し、測定値に基づいて前記任意の複数の位置におけるエンドエフェクタの位置を求めて、前記任意の複数の位置全てにおいて求めたエンドエフェクタの基台に対する位置と指令位置との差が最も小さくなるように前記機構の幾何学的誤差を推定し、この幾何学的誤差を補正値としてすることにより、エンドエフェクタの位置及び姿勢の誤差を修正するものである。

【0014】請求項9の発明は、基台と、基台に対し移動位置決め可能に設けられたエンドエフェクタとの指令

値と実際の位置との誤差を補正する方法であって、前記エンドエフェクタを任意の複数の位置に位置決めし、エンドエフェクタ上の3点に対する基台上の3点各々との距離をそれぞれ測定し、測定値に基づいて前記任意の複数の位置におけるエンドエフェクタの位置と姿勢を求めて、前記任意の複数の位置全てにおいて求めた位置と姿勢とエンドエフェクタの指令値および前記機構の幾何学的誤差を推定し、この幾何学的誤差を補正値として用により、エンドエフェクタの位置及び姿勢の誤差を補正する。

## 10 するもの

[0015] [発明の実施形態]以下、本発明を具現化した実施の一形態を図面を基に説明する。図1は第1の実施形態を示す測定装置1の例の斜視図であり、測定基準CBに対する被測定物7の基準OBの位置を測定する測定装置を示す。

[0016] 測定基準OBとなる基台1の上に3つの自在軸手固定部材2a、2b、2cが取り付けられ、それぞれの自在軸手固定部材2a、2b、2cには鋼球3a、3b、3cが固定されている。図示しない部材に支えられた被測定物7に自在軸手固定部材4が取り付けられ、自在軸手固定部材4には鋼球5が固定されている。測定装置6はいわゆるダブルボールバーのような測定装置であり、両端に磁気を帯び、鋼球3a、3b、3cの何れか1ヶ及び鋼球5を受ける部材を有し、鋼球3a、3b、3cの何れか1ヶと鋼球5の間に磁力によって取り付けられる。鋼球3a、3b、3c及び鋼球5は自ら自在軸手として機能し、磁力によって取り付けられた測定装置6は球の中心点を中心としてあらゆる方向に傾くこと

ができる。  
30 [0017] 続いて第1の実施形態での測定方法を説明する。基台1の上に3つの自在軸手固定部材2a、2b、2c及び鋼球3a、3b、3cを取り付け、測定基準O点に対する鋼球3a、3b、3cの中心点の位置を予め測定等により既知しておく。更に、被測定物7に自在軸手固定部材4及び鋼球5を取り付け、被測定物7の基準O点に対する鋼球5の中心点の位置を予め測定等により既知しておく。

〔0018〕まず鋼球3aと鋼球5の間に測長装置6を取り付け、鋼球3aと鋼球5の中心点間距離を測定す

40 る。位置が既知の3点とある別の点との距離を夫々測定し、その点の位置を特定する3点測量の要領で、上記測定を各々別の鋼球3 b、3 cに対して繰返し行い、鋼球3 bと鋼球5の中心点間距離及び鋼球3 cと鋼球5の中心点間距離を測定する。測定した鋼球3 a、3 b、3 cと鋼球5のそれぞれの中心点間距離、測定基準0Hに対する鋼球3 a、3 b、3 cの中心点の位置及び被測定物7の基準OHに対する鋼球5の中心点の位置から測定基準0Hに対する被測定物7の基準OHの位置を求める。なお、測定精度を向上させるために上述の測定を3回に限らず4回以上行い平均をとるなどしてもよい。

【0019】図2は第2の実施形態を示す測定装置の1例の斜視図であり、測定基準OHに対する被測定物7の基準OHの位置を測定する測定装置を示すもので、同一の構成には同一の番号を付し説明を省略する。

【0020】第2の実施形態では、測定基準OBとなる基台1の上にサドル1・3が移動可能に載置されモータ1・1によりX軸方向に移動し、その位置が位置検出器1・2により検出される。更にサドル上にはテーブル8が移動可能に載置されモータ1・4によりY軸方向に移動し、その位置が位置検出器1・5により検出される。自在椎手固定部材2はテーブル8に取り付けられ、その先端に鋼球3が固定されている。従って、鋼球3及び自在椎手固定部材2は、モータ1・1によるサドル1・3の移動及びモータ1・4によるテーブル8の移動によりXY平面内の任意の位置に位置決めることができる。測定装置6は鋼球3と自在椎手固定部材4を介して被測定物7に取り付けられた鋼球5との間に磁石によって取り付けられる。

【0021】統いて第2の実施形態での測定方法を説明する。テーブル8上に自在椎手固定部材2及び鋼球3を取り付け、テーブル8が特定の位置に位置決めされた時の測定基準OBに対する鋼球3の中心点の位置を予め測定及び位置検出器1・2、1・5により既知にしておく。被測定物7に自在椎手固定部材4及び鋼球5を取り付け、被測定物7の基準OHに対する鋼球5の中心点の位置を予め測定等により既知にしておく。

【0022】次に、モータ1・1及びモータ1・4によりサドル1・3及びテーブル8を移動させテーブル上の鋼球3を任意の位置に位置決めし、測定基準OBに対する鋼球3の中心点の位置を位置検出機1・2、1・5により検出する。その後、鋼球3と鋼球5の間に測定装置6を取り付け、鋼球3と鋼球5の中心点間距離を測定する。同様にして鋼球3を移動させ、任意の3ヶ所の位置で測定基準OBに対する鋼球3の中心点の位置及び鋼球3と鋼球5の中心点間距離を測定する。測定した3ヶ所の位置における鋼球3と鋼球5のそれぞれの中心点間距離、測定基準OBに対する3ヶ所の位置における鋼球3の中心点の位置及び既知である被測定物7の基準OHに対する鋼球5の中心点の位置から測定基準OBに対する被測定物7の基準OHの位置を求める。

【0023】図3は第3の実施形態を示す測定装置の1例の斜視図であり、測定基準OBに対する被測定物7の基準OHの位置及び被測定物7の姿勢を測定する測定装置を示すもので、同一の構成には同一の番号を付し説明を省略する。

【0024】第3の実施形態では、被測定物7に3つの鋼球5a、5b、5cが固定された自在椎手固定部材9が取り付けられている。統いて第3の実施形態での測定方法を説明する。基台1の上に3つ以上の自在椎手固定部材2a、2b、2c及び鋼球3a、3b、3cを取り付け、測定基準OBに対する鋼球3a、3b、3cの中心

点の位置を予め測定等により既知にしておく。更に、被測定物7に鋼球5a、5b、5cが固定した自在椎手固定部材9を取り付け、被測定物7の基準OHに対する鋼球5a、5b、5cの中心点の位置を予め測定等により既知にしておく。

【0025】次に、鋼球5aと鋼球3aの間に測定装置6を取り付け、鋼球5aと鋼球3aの中心点間距離を測定する。上記測定を各々別の鋼球3b、3cに対して繰り行い、鋼球5aと鋼球3bの中心点間距離及び鋼球5aと鋼球3cの中心点間距離を測定する。測定した鋼球5aと鋼球3a、3b、3cのそれぞれの中心点間距離及び測定基準OBに対する鋼球3a、3b、3cの中心点の位置から測定基準OBに対する鋼球5aの中心点の位置を求める。同様に、測定装置6は鋼球5b、5cに取り付け上記測定を各々行い、測定基準OBに対する鋼球5b、5cの中心点の位置を求める。求めた3つの鋼球5a、5b、5cの中心点の位置及び既知である被測定物7の基準OHに対する鋼球5a、5b、5cの中心点の位置から、被測定物7の基準OHの位置と姿勢を求ることができる。

【0026】また、上述の測定方法とは別な方法を以下に説明する。図4は、基台1に取付けられた6つの鋼球3と被測定物7に取付けられた3つの鋼球5との中心点の位置関係を6自由度パラレルメカニズムと想定し示したものである。図4において、固定節TBにある対偶B1、B2、B3、B4、B5、B6は基台1に取付けられた6つの鋼球3の中心点であり、可動節TPにある対偶P1、P2、P3は被測定物7に取付けられた3つの鋼球5の中心点であり、節L1、L2、L3、L4、L5、L6は夫々測定装置6で測定した鋼球3と鋼球5との中心点間距離である。節L1、L2、L3、L4、L5、L6の長さから、パラレルメカニズムの順機構変換を行なうことにより可動節TPの位置と傾きを求めることができる。したがって、被測定物7の基準OHと自在椎手固定部材9と3つの鋼球5a、5b、5cとの位置関係から、被測定物7の位置及び姿勢を特定することができる。

【0027】なお、図4において固定節TBの対偶を対偶B1からB6の6つであるとしたが3つでもよく、移動節TPの対偶を対偶P1からP3の3つであるとしたのが6つでもよい。

【0028】図5は、基台に取付けられた6つの鋼球3と被測定物に取付けられた6つの鋼球との中心点間距離から測定基準OBに対する被測定物7の基準OHの位置及び被測定物7の姿勢を測定する測定装置の1例の斜視図である。6つの鋼球3a、3b、3c、3d、3e、3fと鋼球5a、5b、5c、5d、5e、5fの中心点の関係は空間6自由度パラレルメカニズムであるため、測定装置6a、6b、6c、6d、6e、6fにより夫々の鋼球の中心点間距離を測定し、この測定値を基にパラレ

ルメカニズムの順機械変換を行うことにより、被測定物7の基準OHと6つの鋼球5の位置関係から、被測定物7の位置及び姿勢を特定することができる。

【0029】又、対偶を3つにした場合は、片側の節が2本の二自在継手を用いる。図6は二自在継手の1例としての二叉球面自在継手である。節21がソケット22に取り付けられ、ソケット22と蓋23の間にはめ込まれている半球24に節26が取り付けられ、半球25に節27が取り付けられている。この構成により、半球24と半球25は夫々が持つ平面に垂直で且つ夫々の持つ円の中心点を通る軸を中心にして互いに回転運動することができ、ソケット22内であらゆる方向に傾くことができる。尚、二自在継手はここで挙げた球面継手に限るものではなく、回転軸受けを組み合わせたものなどでもよい。

【0030】図7は第4の実施形態を示す測定装置の1例の斜視図であり、測定基準OHに対する被測定物7の基準OHの位置及び被測定物7の姿勢を測定する測定装置を示すもので、同一の構成には同一の番号を付し説明を省略する。第4の実施形態では、第2の実施形態に対し、被測定物7に3つの鋼球5 a、5 b、5 cが固定された自在継手固定部材9が取り付けられる点が異なる。テーブル8上に自在継手固定部材2及び鋼球3を取り付け、テーブル8が特定の位置に位置決めされた時の測定基準OHに対する鋼球3の中心点の位置を予め測定及び位置検出器12、15により既知にしておく。更に、被測定物7に鋼球5 a、5 b、5 cを固定した自在継手固定部材9を取り付け、被測定物7の基準OHに対する鋼球5 a、5 b、5 cの中心点の位置を予め測定等により既知にしておく。

【0031】次に、第2の実施形態と同様、モータ11及びモータ14によりテーブル8上に取り付けた鋼球3を移動させ、任意の3ヶ所の位置で測定基準OHに対する鋼球3の中心点の位置及び鋼球3と鋼球5 aの中心点間距離を測定し、測定基準OHに対する鋼球5 aの中心点の位置を求める。同様に、測長装置6を鋼球5 b、5 cに取付け上記測定を各々行い、測定基準OHに対する鋼球5 b、5 cの中心点の位置を求める。求めた3つの鋼球5 a、5 b、5 cの中心点の位置及び既知である被測定物7の基準OHに対する鋼球5 a、5 b、5 cの中心点の位置から、被測定物7の基準OHの位置と姿勢を求めることができる。

【0032】また、テーブル8を移動させることにより3ヶ所に位置決めさせた鋼球3と被測定物7に取り付けた3つの鋼球5 a、5 b、5 cの中心点の位置の関係を空間6自由度パラレルメカニズムと想定し、測長装置6を用いて測定した3ヶ所の鋼球3と鋼球5 a、5 b、5 cの中心点間距離を基に、パラレルメカニズムの順機械変換を行うことにより、被測定物7の位置及び姿勢を特定することができる。

【0033】図8は第5の実施形態を示す測定装置の1例の斜視図であり、測定基準OHに対する被測定物7の基準OHの位置及び被測定物7の姿勢を測定する測定装置を示すもので、同一の構成には同一の番号を付し説明を省略する。第5の実施形態では、被測定物7に鋼球5が固定された自在継手固定部材10が取り付けられるが、第3の実施形態に対し、自在継手固定部材10もしくは被測定物7が角度割り出し可能な回転機構を持ち、自在継手固定部材10は或る回転中心軸に対して回転し、任意の角度で位置決めできる点が異なる。基台1の上に3つ以上の自在継手固定部材2 a、2 b、2 c及び鋼球3 a、3 b、3 cを取り付け、測定基準OHに対する鋼球3 a、3 b、3 cの中心点の位置を予め測定等により既知にしておく。更に、被測定物7に鋼球5を固定した自在継手固定部材10を取り付け、被測定物7の基準OHに対する鋼球5の中心点の位置を予め測定等により既知にしておく。自在継手固定部材10の基準OHと回転中心軸の関係を予め既知にしておくことにより、任意の角度に位置決めした際にも鋼球5の中心点位置は既知となる。な

お、鋼球5は自在継手固定部材10には回転中心軸に対する偏心させて固定されている。

【0034】まず、自在継手固定部材10を任意の角度に位置決めし、測長装置6により鋼球5と3つの鋼球3 a、3 b、3 cの中心点間距離を測定し、測定基準OHに対する鋼球5の中心点の位置を求める。次に、自在継手固定部材10を上記と異なる任意の角度に位置決めし同様の測定を行い、測定基準OHに対する鋼球5の中心点の位置を求めることを繰返す。以上より求めた3つの角度の位置における鋼球5の中心点の位置及び既知である被測定物7の基準OHに対する鋼球5の中心点の位置から、被測定物7の基準OHの位置と姿勢を求めることができる。

【0035】また、基台1の上に取り付けられた3つ以上の鋼球3 a、3 b、3 cと被測定物7に取り付けられた3つの角度に位置決めさせた鋼球5の中心点の位置の関係を空間6自由度パラレルメカニズムと想定し、測長装置6を用いて測定した鋼球3 a、3 b、3 cと3ヶ所の鋼球5の中心点間距離を基に、パラレルメカニズムの順機械変換を行うことにより、被測定物7の位置及び姿勢を特定することができる。

【0036】図9は第6の実施形態を示す測定装置の1例の斜視図であり、測定基準OHに対する被測定物7の基準OHの位置及び被測定物7の姿勢を測定する測定装置を示すもので、同一の構成には同一の番号を付し説明を省略する。第6の実施形態では、被測定物7に鋼球5が固定された自在継手固定部材10が取り付けられるが、第4の実施形態に対し、自在継手固定部材10もしくは被測定物7が角度割り出し可能な回転機構を持ち、自在継手固定部材10は或る回転中心軸に対して回転し、任意の角度で位置決めできる点が異なる。テーブル8上に自

在継手固定部材2及び鋼球3を取り付け、テーブル8が特定の位置に位置決められた時の測定基準OBに対する鋼球3の中心点の位置を予め測定及び位置検出器12、15により既知にしておく。更に、被測定物7に鋼球5を固定した自在継手固定部材10を取り付け、被測定物7の基準OBに対する鋼球5の中心点の位置を予め測定等により既知にしておく。自在継手固定部材10の基準と回転中心軸の関係を予め既知しておくことにより、任意の角度に位置決めした際にも鋼球5の中心点位置は既知となる。なお、鋼球5は自在継手固定部材10には回転中心軸に対して偏心させて固定されている。

【0037】まず、自在継手固定部材10を任意の角度に位置決めし、次いで第4の実施形態と同様、モータ1及びモータ14により鋼球3を移動させ、任意の3ヶ所の位置で測定基準OBに対する鋼球3の中心点の位置及び鋼球3と鋼球5の中心点間距離を測定し、測定基準OBに対する鋼球5の中心点の位置を求める。次に、自在継手固定部材10を上記と異なる任意の角度に位置決めし同様の測定を行い、測定基準OBに対する鋼球5の中心点の位置を求ることを繰返す。以上より求めた3つの角度の位置における鋼球5の中心点の位置及び既知である被測定物7の基準OBに対する鋼球5の中心点の位置から、被測定物7の基準OBの位置と姿勢を求ることができる。

【0038】また、テーブル8を移動させることにより3ヶ所に位置決めさせた鋼球3と被測定物7に取り付けられ3つの角度に位置決めさせた鋼球5の中心点の位置の関係を空間6自由度パラレルメカニズムと想定し、測長装置6を用いて測定した3ヶ所の鋼球3と3ヶ所の鋼球5の中心点間距離を基に、パラレルメカニズムの順構換算を行うことにより、被測定物7の位置及び姿勢を特定することができる。

【0039】第1の実施形態から第6の実施形態に関して、自在継手固定部材1と基台1もしくはテーブル8は一体でもよく、鋼球3は直接基台1もしくはテーブル8に取り付けられてもよく、自在継手固定部材2と鋼球3は一体でもよい。また、自在継手固定部材4もしくは自在継手固定部材9もしくは自在継手固定部材10と鋼球5は一体でもよい。さらに、測長装置6の両端もしくは片端に鋼球3及び/もしくは鋼球5が予め固定されていてもよく、その場合、自在継手固定部材2及び/もしくは自在継手固定部材4もしくは自在継手固定部材9もしくは自在継手固定部材10は磁気を帯びた鋼球取り付け部を有する。さらにもう一つ、自在継手としてあらゆる方向に傾くものであればよく、鋼球と磁気を帯びた受け部の組み合わせだけではなく、球面把手や回転把手を複数組み合わせた継手でもよい。また、測長装置6としてダブルロールバーを挙げながら、本発明はこれにて制限されるものではなく、リニアエンコーダ等により広い測長範囲を有する測長装置などでもよい。また、基台1の上に3

つ以上の鋼球3a、3b、3cを取り付ける形態の測定装置においては、図5に示すように複数個の測長装置を用い、複数個の鋼球の中心間距離を同時に測定するようにしてよい。

【0040】図10は請求項7から9の発明の誤差補正方法に係わるアクチュエータによってエンドエフェクタの位置及び姿勢を制御する機械の1例としての空間6自由度のスチュワートプラットフォーム型パラレルメカニズム工作機械の斜視図である。工具取り付け部を有する10エンドエフェクタ32は自在継手33を介してボールねじ34に取り付けられ、ボールねじ34は自在継手35を介してフレーム37に取り付けられる。自在継手35に取り付けられたサーボモータ36によってボールねじ34のナットを回転させ、自在継手33と自在継手35の間のボールねじ34の長さを変えることにより、エンドエフェクタ32の位置と姿勢を制御する。エンドエフェクタ32に工具を取り付け、テーブル31に加工物を乗せ加工を行う。テーブル31とフレーム37は固定されているため、一体であると考えても良い。

【0041】このような機械には、エンドエフェクタ32の基準点に対する自在継手33の回転中心点の位置誤差、自在継手35の回転中心点の位置誤差、自在継手33と自在継手35との間のボールねじ34の長さ誤差など、設計値に対する幾何学的誤差(誤差パラメータ)があり、この誤差の影響により、指令に対してエンドエフェクタ32の位置及び姿勢に誤差が含まれる。請求項7から9の発明は、この誤差パラメータを推定し補正することによってエンドエフェクタ32の位置及び姿勢の誤差を補正する方法を提供するものである。

【0042】図11は第7の実施形態に用いる装置の一例の斜視図であり、テーブル31に設けられた鋼球3の中心間エンドエフェクタ32に設けられた鋼球5の中心間の距離を測定する測定装置を示すもので、同一の構成には同一の番号を付し説明を省略する。

【0043】測定基準OBとなるテーブル31の上に自在継手固定部材41が取り付けられ、自在継手固定部材41には鋼球3a固定されている。図示しない部材に支えられたエンドエフェクタ32に自在継手固定部材4が取り付けられ、自在継手固定部材4には鋼球5が固定されている。測長装置6は両端に磁気を帯び、鋼球3及び鋼球5の間に磁力によって取り付けられる。鋼球3及び鋼球5は自在継手として機能し、磁力によって取り付けられた測長装置6は球の中心点を中心としてあらゆる方向に傾くことができる。

【0044】統一して第7の実施形態での測定方法を図12に基づき説明する。テーブル31の上に自在継手固定部材41及び鋼球3を取り付け、測定基準OBに対する鋼球3の中心点の位置を予め測定等により既知にしておく。更に、エンドエフェクタ32に自在継手固定部材4及び鋼球5を取り付け、エンドエフェクタ32の基準0

Hに対する鋼球5の中心点の位置を予め測定等により既知にしておく。

【0045】ステップS1において、鋼球3と鋼球5の間に測長装置6を取り付け、鋼球3と鋼球5の中心点間距離を測定する。上記測定をエンドエフェクタ32の位置及び姿勢を変えて複数回繰り返し行い、複数の鋼球3と鋼球5の中心点間距離を測定する。

【0046】ステップS2において、複数の測定した鋼球3と鋼球5の中心点間距離から、誤差パラメータを推定する。その例を以下に述べる。誤差パラメータを変えることによりエンドエフェクタ32の位置及び姿勢が変わることを表す式を式1とする。

$$[式1] X = h \quad (E)$$

ただし、

E : n (正の数) 個の誤差パラメータ

X : エンドエフェクタ32の位置及び姿勢

【0047】上述のようにエンドエフェクタ32の基準とエンドエフェクタ32を取り付けられる測定装置上の鋼球5の中心点との位置関係は既知してあるため、エンドエフェクタ32の位置及び姿勢から鋼球5の中心点の位置は式2にて求めることができる。

$$[式2] Y = h' \quad (E)$$

ただし、

Y : エンドエフェクタ32に取り付けられた測定装置における鋼球5の中心点の位置

【0048】測定基準である鋼球3の中心点とエンドエフェクタ32に取り付けられた鋼球5の中心点との中心間距離の測定値が計算値と同じであるとするならば式3が成立立。

$$[式3] f(E) = m_k^2 - (Y_k - 0)^2 = 0 \quad (E)$$

ただし、

m<sub>k</sub> : k (正の数) 番目の測定値 (鋼球3と鋼球5との中心間距離)

Y<sub>k</sub> : k (正の数) 番目の測定時の、鋼球5の中心点の指令位置

0 : 測定基準の位置 (鋼球3の中心点の位置)

【0049】実際には誤差パラメータの影響で式3は0にならない。そこで、全ての測定値に対して式4のFが最小になるように、誤差パラメータEを数値計算で求める。数値計算としてはNewton-Raphson法などを用いる。

【式4】

$$F(E) = \sum_{j=1}^k \left( m_j^2 - (Y_j - 0)^2 \right)^2$$

【0050】上述のスチュワートプラットフォーム型のバラレルメカニズム工作機械における誤差パラメータは、エンドエフェクタ32の基準点に対する自在継手3の回転中心点の誤差を含んだ位置、機械の基準点に対する自在継手3の回転中心点の誤差を含んだ位置、自在継手3と自在継手3の間のボールねじ34の長さ

であるとし、ボールねじ34、自在継手33、自在継手35の1組について式5で表すことができる。

$$[式5] L_i = |B_i - M^T(P_i)| \quad (P_i)$$

ただし、

i : 1から6

P<sub>i</sub> : エンドエフェクタ32の基準点に対する各自在継手33の回転中心点の誤差を含んだ位置

X : エンドエフェクタ32の位置及び姿勢

M : ある点を指定した位置及び姿勢Xに移動させる演算子

10

B<sub>i</sub> : 機械の基準点に対する各自在継手35の回転中心点の誤差を含んだ位置

L<sub>i</sub> : 在自継手33と自在継手35の間のボールねじ34の誤差を含んだ長さ

【0051】尚、式5は非線形連立方程式になるため、式5において、ある誤差パラメータの値におけるエンドエフェクタ32の位置及び姿勢Xを求めるためには、Newton-Raphson法などの数値計算で解法する。この計算は式1に相当し、エンドエフェクタ32の基準点とエンドエフェクタ32に取り付けられる測定装置上の鋼球5の中心点との位置関係が既知なことから、式5のP<sub>i</sub>を鋼球5の中心点に対する各自在継手33の回転中心点の位置とすることにより式2に相当する鋼球5の中心点の位置を求めることができる。エンドエフェクタ32の位置及び姿勢を任意に変えて測定を行い、得られた測定値を用いて式4を数値計算することにより、上述の誤差パラメータを求めることができる。

【0052】ステップS3において、これら誤差パラメータを補正することにより、エンドエフェクタ32の位置及び姿勢の誤差が補正できる。なお、誤差補正対象機械が姿勢を制御しない場合は位置の誤差のみの補正を行なうことができる。

【0053】次に図1又は図2に示した測定装置を用いてエンドエフェクタ32の位置を測定し、誤差パラメータを推定し補正することによりエンドエフェクタ32の位置及び姿勢の誤差の補正を行う第8の実施形態での補正方法を図13に基づき説明する。

【0054】ステップS11、S12において、上述の方法により、測定基準0に対するエンドエフェクタ32の位置及び姿勢を、エンドエフェクタ32の位置を変えて複数回繰り返し行い、測定する。

【0055】ステップS13において、複数の測定したエンドエフェクタ32の位置から、誤差パラメータを推定する。その例を以下に述べる。エンドエフェクタ32の位置の測定値と式1におけるエンドエフェクタ32の計算値が同じとなるならば式6が成立立つ。

$$[式6] g(E) = T_k - X_k = 0$$

ただし、

T<sub>k</sub> : k (正の数) 番目のエンドエフェクタ32の位置 50 の測定値

15

$X_k : k$  (正の数) 番目の測定時の、エンドエフェクタ 32 の指令位置 (位置の情報)

実際には誤差パラメータの影響で式 6 は 0 にならないため、全てのエンドエフェクタ 32 の位置の測定値に対して式 7 の G が最小になるように、誤差パラメータ E を数値計算で求める。

【式 7】

$$G(E) = \sum_{j=1}^k \{ T_j - X_j \}^2$$

【0056】ステップ S 14において、これら誤差パラメータを補正することにより、エンドエフェクタ 32 の位置及び姿勢の誤差が補正できる。なお、誤差補正対象機械が姿勢を制御しない場合は位置の誤差のみの補正を行うことができる。

【0057】次に図 3 ないし図 7 に示した測定装置を用いてエンドエフェクタ 32 の位置及び姿勢を測定し、誤差パラメータを推定し補正することによりエンドエフェクタ 32 位置及び姿勢の誤差の補正を行なう第 9 の実施形態での補正方法を図 14 に基づき説明する。

【0058】ステップ S 21、S 22 において、上述の方法により、測定基準点に対するエンドエフェクタ 32 の位置及び姿勢を、エンドエフェクタ 32 の位置を変えて複数回繰り返し行い、測定する。

【0059】ステップ S 23において、複数の測定したエンドエフェクタ 32 の位置及び姿勢から、式 1 を用いて未知数である誤差パラメータ E の数に対して必要となるだけの数の連立方程式を解き、誤差パラメータを推定する。その場合、必要となる式の数に対して解 X を用意する必要がある。すなわち、必要となる式の数のエンドエフェクタ 32 の位置及び姿勢の測定を行い、それら測定値から演算を行う。上述のパラレルメカニズム工作機械では式 5 を用いるが、非線形連立方程式となるため数値計算によって解かず。

【0060】ステップ S 24において、これら誤差パラメータを補正することにより、エンドエフェクタ 32 の位置及び姿勢の誤差が補正できる。

【0061】上記補正方法の説明においては、図 10 のような空間 6 自由度スチュワートプラットフォーム型パラレルメカニズム工作機械を示したが、本発明に係わる機械はこれに限るものではなく、ロボット、産業機械、測定機、建設機械などでもよい。また、6 自由度未満でもよい。さらに、パラレルメカニズムとしてはスチュワートプラットフォーム型に限らず、屈曲型、スライド型でもよい。さらにもう一つ、シリアルメカニズムでもよい。

【0062】

【発明の効果】以上記述したように第 1 もしくは 2 の何れかの発明によれば、被測定物を取り付けられた自在椎手の回転中心点の位置を、測定基準である基台に取り付けられた 3 つ以上の自在椎手の回転中心点から 3 点測量

して演算することによって、被測定物の位置を特定するようにして、移動可能な被測定物の位置を高精度に測定することができる。

【0063】また、第 3 から第 6 の何れかの発明によれば、被測定物を取り付けられた 3 つ以上の自在椎手の回転中心点の位置を、測定基準である基台に取り付けられた 3 つ以上の自在椎手の回転中心点からそれぞれ 3 点測量して演算することによって、被測定物の位置及び姿勢を特定することができる。

【0064】さらに、第 7 から第 9 の何れかの発明によれば、アクチュエータによりエンドエフェクタの位置及び姿勢を制御する機械の構造における設計値に対する幾何学的誤差を推定することにより、エンドエフェクタの位置及び姿勢の誤差を補正することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第 1 の実施形態を示す測定装置の 1 例を示す斜視図。

【図 2】第 2 の実施形態を示す測定装置の 1 例を示す斜視図。

【図 3】第 3 の実施形態を示す測定装置の 1 例を示す斜視図。

【図 4】パラレルメカニズムの模式図。

【図 5】第 3 の実施形態を示す測定装置の他の例を示す斜視図。

【図 6】二又自在椎手の 1 例を示す。

【図 7】第 4 の実施形態を示す測定装置の 1 例を示す斜視図。

【図 8】第 5 の実施形態を示す測定装置の 1 例を示す斜視図。

【図 9】第 6 の実施形態を示す測定装置の 1 例を示す斜視図。

【図 10】請求項 7 から 9 の発明の誤差補正の対象である機械の 1 例としてのパラレルメカニズム工作機械を示す。

【図 11】第 7 の実施形態を示す測定装置の 1 例を示す斜視図。

【図 12】第 7 の実施形態における誤差補正方法の 1 例を示すフローチャート。

【図 13】第 8 の実施形態における誤差補正方法の 1 例を示すフローチャート。

【図 14】第 9 の実施形態における誤差補正方法の 1 例を示すフローチャート。

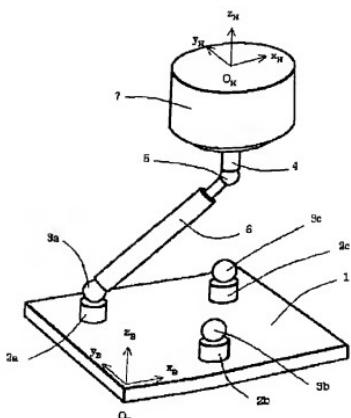
【符号の説明】

1 · 基台、 2 a · 2 b · 2 c · · 自在椎手固定部材、 3 a · 3 b · 3 c · 鋼球、 4 · 自在椎手固定部材、 5 a · 5 b · 5 c · 鋼球、 6 · 测長装置、 7 · 被測定物、 8 · テーブル、 9 · 自在椎手固定部材、 10 · 自在椎手固定部材、 3 1 · テーブル、 3 2 · エンドエフェクタ、 3 3 · ポールねじ、 3 5 · 自在椎

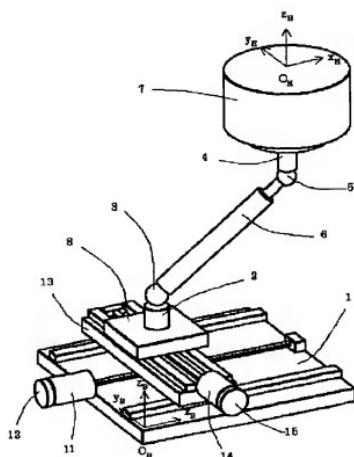
50 自在椎手、 3 4 · ボールねじ、 3 5 · 自在椎

手、36···サーボモータ、37···フレーム、\* \* 41···自在椎手固定部材

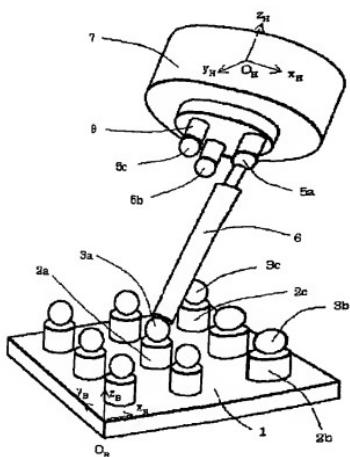
【図1】



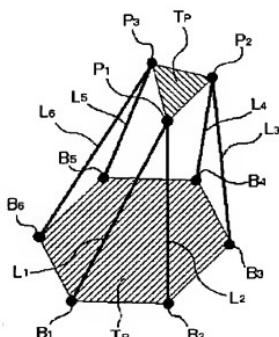
【図2】



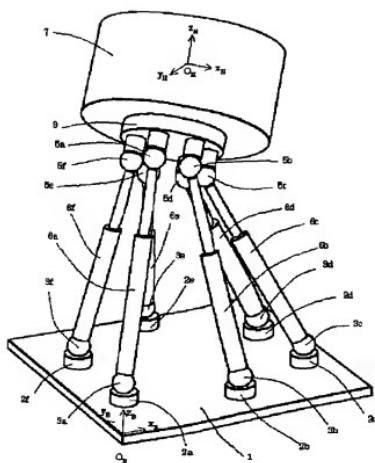
【図3】



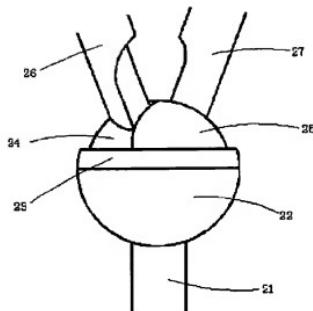
【図4】



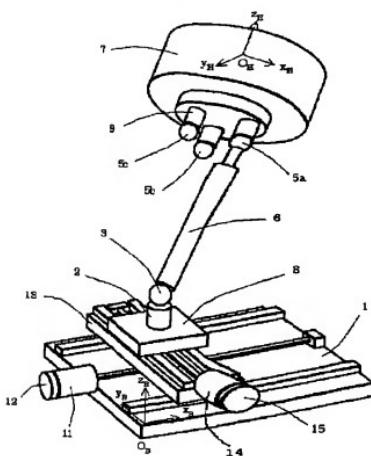
【図5】



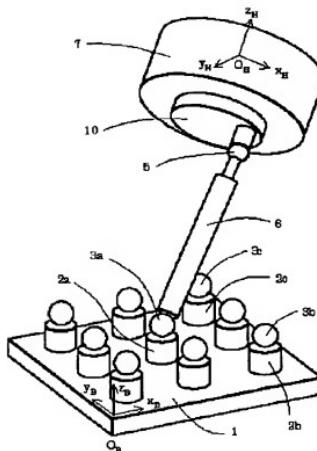
【図6】



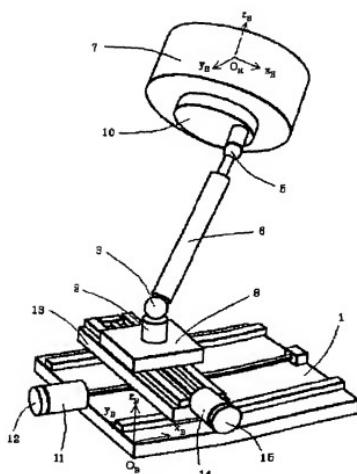
【図7】



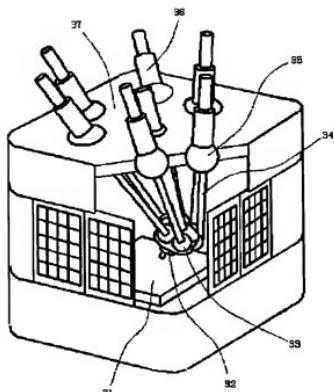
【図8】



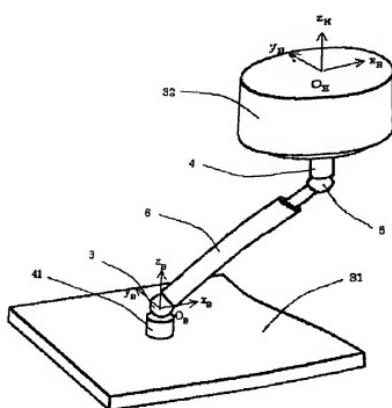
【図9】



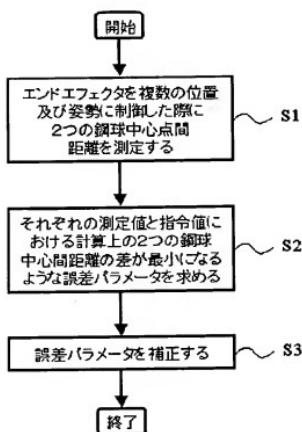
【図10】



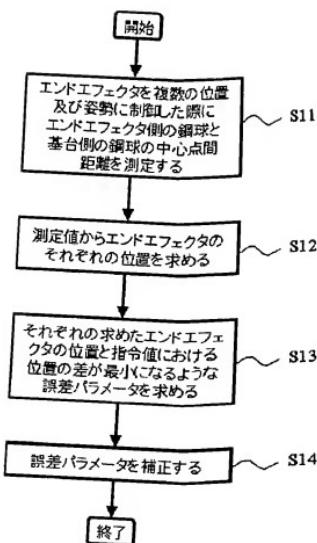
【図11】



【図12】



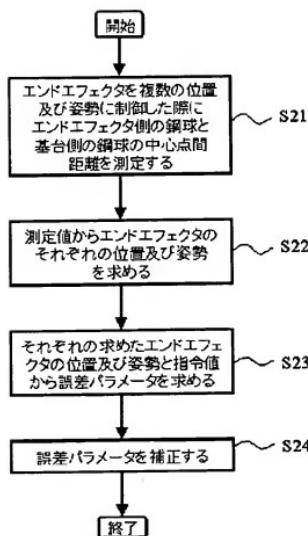
【図13】



(72)発明者 中川 昌夫

愛知県丹羽郡大口町下小口5丁目25番地の  
1 オークマ株式会社大口工場内

【図14】



F ターム(参考) 3F059 AA11 BA05 DA09 FB16  
 SH269 AB26 AB33 BB03 CC01 CC10  
 EE05 FF02 FF06

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.